

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：22303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04371

研究課題名(和文) 感潮域における微細土砂堆積機構の解明と災害安全度の向上に向けた新たな管理への応用

研究課題名(英文) Study on the mechanism of fine sediment deposition in tidal zone and its application to new management to improve disaster safety

研究代表者

平川 隆一 (Hirakawa, Ryuichi)

前橋工科大学・工学部・准教授

研究者番号：70380748

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：感潮河川は塩水・淡水が入り混じっているため生物の生産性が高く、非常に豊かな生態系を持っている。そのため、感潮河川の理解を深めることはバランスのよい地域開発を行う上で非常に重要である。

本研究では、感潮域の複断面河道部に生じる二次流や土砂の堆積機構を数値解析によって再現し、感潮域の複断面河道における流れと土砂の堆積機構の特性を解明することを目的とした。その結果、大潮時の現地観測では下げ潮流量最大時に滞筋で二次流セルが生じ、上げ潮流量最大時は生じていなかった。数値解析から、下げ潮時の二次流は塩分によって生じ、上げ潮時の小規模な二次流セルの発生には、塩分および水温はあまり影響していないことが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの研究から、流れ方向主流速の空間分布と二次流構造は微細土砂の横断方向への堆積厚さに関与していることがわかってきた。流動機構を解明することは、物質輸送、底質形成、水質環境などの研究で、また船舶の航行や漁業分野では、効率的な移動や停泊において重要である。本研究において、物質輸送の一部に横断面内の二次流構造が寄与していることを見出した。さらに流下方向の土砂輸送は、最強流時に多いこと、上層と下層で濃度が異なっていることなども明らかになった。このように本研究を通して感潮域の往復流の新たな作用が判明し、水工学のみならず地盤工学や生物学、水産学等への応用も考えられる。

研究成果の概要(英文)：A tidal river is a mixture of saltwater and freshwater, which makes it highly productive and has a very rich ecosystem. Therefore, it is very important to understand tidal rivers in order to develop a well-balanced region.

In this study, we aimed to clarify the characteristics of the flow and sediment deposition mechanisms in a compound channel of a tidal river.

As a result, field observations during high tide showed that secondary flow cells occurred in the fairway. From the numerical analysis, it was found that the secondary flow at the lower tide was caused by salinity, while salinity and water temperature had little effect on the occurrence of small secondary flow cells at the upper tide.

研究分野：水工学

キーワード：感潮域 複断面河道 二次流 密度流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 海水と淡水が混合する河川感潮域に形成された密度流場は、干満差に代表される潮汐特性、河道の縦・横断形状、河床材料、出水特性に応じて種々の形態をとり、川ごとの個性が出現しやすい環境にある。このような河川感潮域は、複雑な物理環境に呼応して多様な環境、豊かな生態系を創出してきたが、河道の単純化、流域からの土砂流入、河床の浚渫、海砂利採取などの影響を受け、その実態は十分に把握されていない。

(2) 本研究が対象とする河川は、我が国最大の干満差と強い潮汐流を伴う閉鎖性内湾である有明海の湾奥部に流入している河川である。これらの河川の河口域では、大量の土砂と栄養塩の流入が繰り返し生じている。このため、かつてはこれらの河口域には広大な砂州干潟が発達していた。しかしながら近年では、強混合型感潮河川であるこれらの感潮域において、粘着性を有する微細土砂からなるガタ土が河岸の砂州の上に大量に堆積しており、複断面水路となって河道断面の狭小化や流水能の低下を引き起こすものとして、ガタ土の堆積管理は実用的な問題ともなっている。現在堆積している砂州上のガタ土に対しては覆砂も行われた箇所もあるが、現在、その覆砂上へのガタ土の堆積は止まっていない。

(3) 感潮域に関する研究では、河道中央で縦断方向に計測を行ったものが多く、河岸底質の浮遊・堆積に重要な横断方向の流動や土砂輸送、塩分構造が見逃されている。申請者がこれまでに行ってきた感潮域での現地観測や河床変動計算、水理構造物に関する研究成果を活用・応用し、ガタ土堆積の問題に道を開くために干満差の大きい感潮域における流れの三次元構造と横断方向の土砂輸送および塩分構造との関係を実証的に検討する新たな研究が必要だと考えた。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、河口域底質の浮遊・堆積機構を明らかにすることを目的とする。そのために横断面内の塩分・土砂濃度による二重拡散対流と流れの三次元構造の解明および感潮河道の河床変動予測モデルを開発することを目標とする。

(2) 河川感潮域の流れと地形変化の相互作用を明らかにすることは、非常に意義がある。これまでの研究から、流れ方向主流速の空間分布と二次流構造は微細土砂の横断方向への堆積厚さに関与していることがわかっている。流動機構を解明することは、物質輸送、底質形成、水質環境などの研究で、また船舶の航行や漁業分野では、効率的な移動や停泊において重要である。

### 3. 研究の方法

(1) 平水時の底質浮遊・堆積がどのように行われているかを観測データに基づいて明らかにする。また、現地観測結果からレイノルズ応力、乱流強度、二次流、渦の挙動、フラックスを計算方程式に取り入れることにより、2D および 3D モデルの精度向上を図る。

(2) 調査対象とした河川は、国内最大級の干満差を有する有明海に注ぐ、直線性とその上流部で規則性の高い蛇行形状の複断面形状を有する唐人川である。研究対象地点は河口から約 3km の地点である。唐人川下流は川幅約 50m、低水路幅約 20mの複断面河道となっている。河床はシルトおよび粘土の微細土砂からなる。

(3) 流動および底質巻き上げに関する現地調査では、1 潮汐間にわたって、ADCP 流速計を用いた流速測定と多項目水質計を用いた水質測定を行った。数値解析では、格子間隔は横断方向に 3m、縦断方向に 20m とし、断面は 10 層とした。境界条件として上流端には ADCP で計測した流量と水温 10 度および塩分濃度 7psu、土砂濃度  $0.02\text{kg}/\text{m}^3$  を与えた。下流端には潮位と水温 25 度及び塩分濃度 30psu、土砂濃度  $0.2\text{kg}/\text{m}^3$  を与えた。

### 4. 研究成果

(1) ADCP 観測は、下げ潮時と上げ潮時の一潮汐間で行った。観測時刻と熊本港の予報潮位を、図 1 に示す。

満潮時における主流速と二次流ベクトルの横断面分布を、図 2 に示す。流下方向成分は底層で流速が速くなっている。これは、淡水よりも塩水の方が重く、塩水が底層の滞筋から侵入しているためと考えられる。また、右岸では僅かに順流になっている。ベクトル分布は、滞筋で右周りの大きな 2 次流セルが生じていることがわかる。

下げ潮流量最大時の主流速と二次流ベクトルの横断面分布を、図 3 に示す。流下方向成分は、全て順流であり、またその等値線は右岸側に

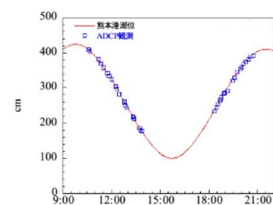


図 1 ADCP 観測時刻と潮位の関係

寄っていることがわかる。また、その等値線は、右岸側で下に伸び、左岸側では上に伸びている。そのため、主流速の空間分布は二次流の影響を受けていると考えられる。二次流ベクトルは、下げ潮流量最大時において、澇筋部で左周りのセルが生じていた。また、傾斜部で強い上向きの流れが生じている。

上げ潮流量最大時の主流速と二次流ベクトルの横断面分布を、図4に示す。流速の流下方向成分は逆流であり、鉛直方向に一様化していることがわかる。二次流ベクトルに着目すると、底層で上向きの流れが強い。このことによって、主流速の等値線が鉛直方向に一様化したと考えられる。

(2) ADCP を用いた現地観測で明らかとなった流動機構について、塩分および水温の影響に着目した。

下げ潮流量最大時の塩分と水温の両方を考慮した条件においては、右岸側で左周りの2次流セル、左岸側で右周りの2次流セルが生じた。これらの二次流セルは、塩分のみを考慮した場合、おとび水温のみを考慮した場合も見られた。しかし、塩分および水温の両方の影響を取り除いた場合の流速分布では、二次流セルの形成は確認できず、二次流の向きは全体的に右向きであった。これらのことから、塩分および水温の影響を考慮した条件で生じた二次流セルは、塩分濃度と水温の差によって生じる2次流によるものであると考えられる。また、流下方向の流速は、塩分および水温の両方を考慮した場合と水温のみを考慮した場合は横断方向に一様化し、水温のみ考慮した場合の最大流速域は下方に伸びていた。これらのことから、流下方向の流速分布は、水温よりも塩分による2次流の影響が大きいと考えられる。

上げ潮流量最大時では、塩分と水温のそれぞれを別々に考慮したいずれの計算条件においても、流れ方向の流速分布や二次流の向きに違いはほとんど見られなかった。二次流は全体的に左向きの流れが強く、左岸側で小さな2次流セルが生じていた。また、低水路右岸側では左上向きの流れが強くなっていた。

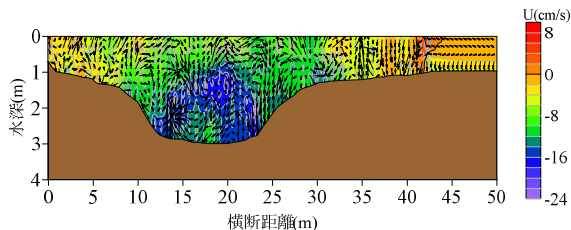


図2 満潮時の主流速と二次流ベクトル

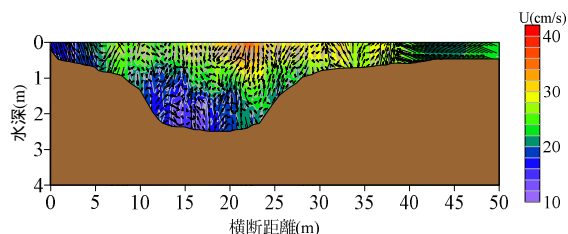


図3 下げ潮流量最大時の主流速と二次流ベクトル

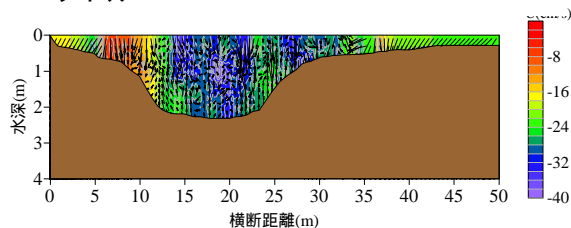


図4 上げ潮流量最大時の主流速と二次流ベクトル

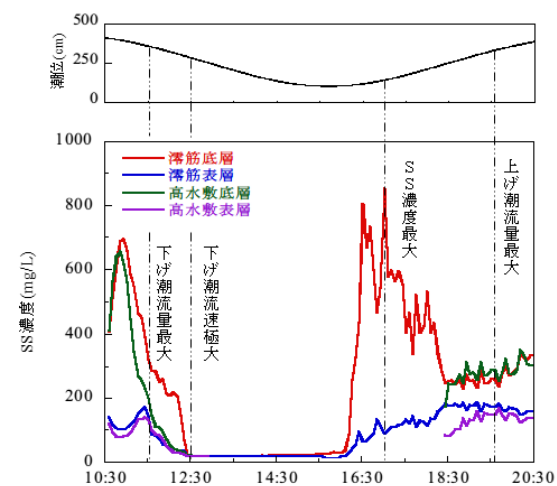


図5 SS濃度の経時変化

(3) 澇筋と高水敷の表層と底層におけるSS濃度を、土砂輸送モデルを用いて求めた。それぞれの箇所でのSS濃度の経時変化を、図5に示す。下げ潮時における表層、底層ともに高水敷よりも澇筋のほうがSS濃度は高くなった。下げ潮流量最大時において表層でSS濃度が極大になっている。それ以降は、澇筋と高水敷の表層・底層において急激にSS濃度は低くなる。上げ潮時における表層は高水敷よりも表層の方がSS濃度は高く、底層は澇筋よりも高水敷が高くなっている。高水敷では時間が経過するほどSS濃度は高くなっている。澇筋では18時30分頃SS濃度は安定する。また、満潮時や干潮時から潮位が変動する瞬間にSS濃度は高くなっている。満潮時から30分後にSS濃度は約700mg/Lとなり、干潮時から1時間30分後にSS濃度は800mg/Lで最大になった。下げ潮流速極大時後においては、SS濃度は約20mg/Lで最小となった。これは、満潮時、干潮時は流速が遅く土砂が溜まり、数時間後に流速が速くなって川底の土砂が巻き上げられることによって、SS濃度が高くなったためであると考えられる。

横断面内のSS濃度分布を、図6および図7に示す。図6の下げ潮流量最大時では、澇筋付近でSS濃度が高く約300mg/Lである。高水敷付近ではSS濃度は約100mg/Lである。SS濃度の等値線は低水路の両端から高水敷に伸びている。これは2次流の影響を受けていると考えられる。

それにより、土砂は低水路の両端で巻き上げられSS濃度が高くなっている。図7の上げ潮流量最大時は、澇筋においてSS濃度は比較的 low 低くその濃度は約 200mg/L である。高水敷でSS濃度は高くその濃度は約300mg/Lとなった。下げ潮時では澇筋付近においてSS濃度は高かったが、上げ潮時には高水敷付近でSS濃度が高くなった。また、全体的にSS濃度が均一で高い。これは上げ潮時に全体的に上向きの流れが強く、満潮時から干潮時にかけて澇筋に溜まった土砂が巻き上げられているためと考えられる。

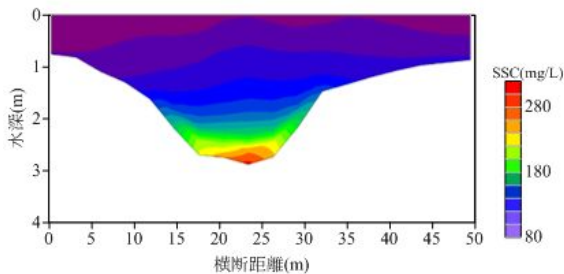


図6 下げ潮流量最大時のSS濃度分布

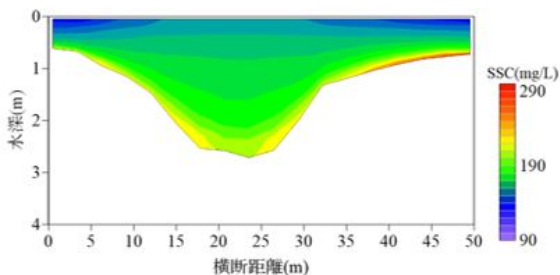


図7 上げ潮流量最大時のSS濃度分布

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ryuichi Hirakawa, Kunitoshi Watanabe, Tetsuji Nakata	4. 巻 *
2. 論文標題 Riverbed evolution analysis: A simulated case study of the Kita River	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SEDIMENT RESEARCH IN RIVERS AND COASTS	6. 最初と最後の頁 103-104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 陳翔, 平川隆一, 大本照憲	4. 巻 Vol.75, No.2
2. 論文標題 2017年7月九州北部豪雨による花月川の洪水氾濫に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集 B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 I_1261-I_1266
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryuichi Hirakawa, Terunori Ohmoto	4. 巻 *
2. 論文標題 FLOW STRUCTURE AND SEDIMENT TRANSPORT IN ESTUARY: A CASE STUDY OF THE TOJINGAWA RIVER, JAPAN	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 22nd IAHR-APD Congress 2020	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryuichi Hirakawa, Terunori Ohmoto	4. 巻 *
2. 論文標題 Flow pattern and Salinity distribution in the Tojingawa River	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IAHR_2020_book_of_abstracts	6. 最初と最後の頁 107-108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryuichi Hirakawa, Terunori Ohmoto, Xiang Chen	4. 巻 *
2. 論文標題 Hydraulic model experimental study of ooding ows at the Shirakawa river in July 2012	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of River Flow 2020	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Ryuichi Hirakawa
2. 発表標題 Riverbed evolution analysis: A simulated case study of the Kita River
3. 学会等名 14th International Symposium on River Sedimentation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳翔
2. 発表標題 2017年7月九州北部豪雨による花月川の 洪水氾濫に関する研究
3. 学会等名 水工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuichi Hirakawa
2. 発表標題 Sediment Transport and Flow Structure in Tojingawa River Estuary
3. 学会等名 11th RIVER, COASTAL & ESTUARINE MORPHODYNAMICS SYMPOSIUM (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuichi Hirakawa
2. 発表標題 FLOW STRUCTURE AND SEDIMENT TRANSPORT IN ESTUARY: A CASE STUDY OF THE TOJINGAWA RIVER, JAPAN
3. 学会等名 22nd IAHR-APD Congress 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryuichi Hirakawa
2. 発表標題 Flow pattern and Salinity distribution in the Tojingawa River
3. 学会等名 IAHR_2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryuichi Hirakawa
2. 発表標題 Hydraulic model experimental study of ooding ows at the Shirakawa river in July 2012
3. 学会等名 River Flow 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大本 照憲  (Ohmoto Terunori)  (30150494)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授    (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------